

PROJET GUYANMAS	CONCEPTION DE SYSTEMES DE CULTURES DURABLES DE PRODUCTION DE BIOMASSE DEDIEE A DES USAGES MULTIPLES
BUDGET PREVISIONNEL	2056 K€
DUREE	5 ANS RENOUVELABLES
ORGANISME	CIRAD GUYANE
PORTEUR DE PROJET	DENIS POUZET (denis.pouzet@cirad.fr)
CONTACT A KOUROU	FRANÇOIS PINTA (francois.pinta@cirad.fr)

OBJECTIF

Concevoir et promouvoir dans les conditions guyanaises, la production de biomasse cultivée valorisable à court terme dans des filières énergétiques ou pour l'élevage et à long terme, au fil des évolutions technologiques, dans la chimie des produits dérivés de la lignocellulose.

RESUME

GUYANMAS propose de concevoir, valider et proposer des itinéraires techniques durables valorisant la production quantitative et qualitative de biomasse. Les recherches portent sur (1) l'optimisation du rendement en matière sèche totale (rendement photosynthétique) dans le cadre d'une évolution de l'agro-industrie vers le bio-raffinage (valorisation de la totalité de la production) et pour répondre aux antagonismes entre les productions alimentaires et non alimentaires. Elles s'intéressent aussi (2) à la modulation de la composition et des caractéristiques de la biomasse (pouvoir calorifique, cellulose, hémicellulose, lignine, protéines...). Il s'agit d'adapter la ressource à l'usage économique dominant envisagé.

Ces objectifs quantitatifs et qualitatifs reposent sur le choix des espèces et des variétés à cultiver. Ils dépendent aussi de la mise au point de techniques de production (cycle cultural, fréquence de récolte, type de mécanisation, gestion des intrants...).

Les principaux usages visés sont l'énergie (thermique, éthanol de première et de seconde génération...) et tous les produits issus de la transformation mécanique, thermochimique, chimique ou biologique des hydrates de carbone de structure (chimie verte). Des retombées potentiellement importantes sur d'autres usages comme l'élevage sont implicites. Elles peuvent notamment contribuer à l'accroissement de la production locale en viande bovine. L'approche vise dans tous les cas à promouvoir des usages multiples (énergie thermique + éthanol ; éthanol + aliment du bétail, dérivés chimiques divers + énergie + élevage...) qui sont les garants d'une amélioration de la rentabilité économique par référence à tout usage unique.

Le projet s'inscrit dans une dynamique régionale de promotion des énergies renouvelables, notamment dans le cadre de l'utilisation non alimentaire de la canne à sucre proposé par les pays CARICOM (Guyana, Barbados, Belize...). Il est complémentaire aux activités des autres DOM, spécialisés dans la production de sucre.

ENJEUX

POSITIONNEMENT STRATEGIQUE GLOBALE

L'agriculture doit s'intensifier pour assurer l'alimentation humaine dans un contexte mondial marqué par une diminution de la surface agricole utile par habitant et la raréfaction des facteurs de production (eau, engrais notamment phosphatés). Elle doit aussi réduire sa large contribution au réchauffement climatique. Les consommations d'énergies fossiles de l'agriculture au travers de la mécanisation, et des intrants sont importantes. La dégradation de la matière organique et des fertilisants azotés produisent des gaz à effet de serre (GES : CH₄, NO_x, CO₂). L'élevage émet à lui seul plus de GES que les transports et représente une source principale de dégradation des terres et des eaux (FAO, 26/11/06).

IL est donc aujourd'hui nécessaire de concevoir des systèmes de culture plus performants, avec une empreinte écologique réduite et un meilleur équilibre entre les usages alimentaires et industriels (annexe II). Les solutions prévisibles sont une évolution des systèmes intensifs dédiés à une production particulière, vers des systèmes de polyculture ou de cultures associées, pour lesquels toute la production peut être valorisée. Les recherches technologiques, notamment du NREL aux USA et du pôle de compétitivité IAR en France

(IAR, 2007 ; Godshall, 2005) développent le concept de bioraffinage de la plante : on sépare/extrait toutes les composantes de la plante pour les valoriser. La notion de déchet ou de sous produit disparaît. Cette évolution est inséparable de l'écodéveloppement (développement économique durable).

La recherche technologique s'est donc fortement impliquée ces dernières années dans la valorisation des principales composantes de la lignocellulose. La recherche agronomique doit préparer ces évolutions (a) en élargissant ses actions à l'ensemble des constituants des plantes, (b) en quantifiant la notion de durabilité et (c) en se rapprochant des demandes industrielles actuelles et prévisibles. Les marges de progrès sont considérables puisque les plantes n'étaient jusqu'à présent étudiées que pour leurs seules parties exploitées (sucre, huile, cellulose...).

De nouvelles applications industrielles, associées à l'utilisation de la lignocellulose, sont annoncées dans des délais courts (annexe I). La littérature scientifique et technique mentionne de nombreux dépôts de brevets, des unités pilotes et de nouveaux projets industriels. Les usages potentiels sont multiples (énergie, biocarburants, alimentation du bétail, biomatériaux, bioraffinage, chimie verte...). Ils sont associés à des composantes qualitatives spécifiques de la biomasse (lignine, cellulose, hémicellulose, pouvoir calorifique, azote...). La contribution du projet Guyanmas consiste à produire de la biomasse de composition adaptée aux besoins spécifiques des usages.

INTERET POUR LA GUYANE

Il existe aujourd'hui en Guyane une forte demande en énergie électrique et en biocarburants. Le principal réseau électrique est implanté en zone côtière et les moyens de production de la centrale diesel de Dégrad des Canes doivent être réformés d'ici 2010. De plus, l'accroissement de la demande se poursuit au rythme de la forte croissance démographique (près de 4% par an). Les besoins en biocarburants relèvent d'une incorporation imposée par la TGAP dont l'application interviendra en 2010 dans les DOM. La politique de la Région Guyane vise à favoriser les énergies renouvelables. Elle pourrait être assurée en partie par les ressources forestières et les résidus d'exploitation des scieries. Ces possibilités sont cependant contraintes (1) par l'impact du déboisement sur la biodiversité et l'environnement et (2) par le manque de connaissance sur la capacité de régénération de la forêt après coupe. Ceci offre une place pour la biomasse cultivée.

La Guyane dispose de réserves foncières et des conditions pédoclimatiques favorables à la production de biomasse sous réserve de recourir à des itinéraires culturels et des pratiques durables. Le développement de filières agro-industrielles basées sur la valorisation de cette production peut participer à la création d'emploi et le développement de l'agriculture. La production de biomasse peut par ailleurs être partiellement dédiée à l'élevage bovin viande (voir à la filière laitière) et contribuer à renforcer cette filière qui ne couvre aujourd'hui qu'environ 20% du besoin de la Guyane.

CONTEXTE ET ENJEUX SCIENTIFIQUES:

La production lignocellulosique des cultures, que nous envisageons de valoriser sous forme énergétique, chimique ou alimentaire a été très peu étudiée. Les principaux travaux sont relatifs à la canne à sucre et aux graminées fourragères. Les connaissances agronomiques sur les relations entre les conditions pédo-climatiques et la synthèse des carbohydrates de structure constituant l'essentiel de la biomasse sont fragmentaires et quasi limitées aux cultures fourragères.

Le potentiel photosynthétique des cultures est très variable selon les espèces. Les plus performantes sont des plantes en C4 (photorespiration réduites par rapport aux C3) adaptées aux conditions climatiques guyanaises : la canne à sucre à une efficacité de 2,24 à 2,59% et le Pennisetum purpureum (elephant grass, sudan grass, tropical napier grass...) atteint le taux record de 2,8% (Klass, D., 2004). Ces chiffres sont à comparer aux 0,79% du maïs et au 0,95% des espèces arbustives tropicales. La capacité globale à transformer

l'énergie lumineuse en biomasse représente donc un facteur de choix intéressant. Des recherches sur l'amélioration du potentiel photosynthétique des cultures sont mentionnées (Lee, JW & al., 2002 ; Kheshgi, HS & al., 2000). Elles visent à accroître la densité de chloroplastes (interception des photons) et à réduire leur taille (réduction des surfaces photo-inhibées lors de la phase d'activation).

Les études de génétique quantitative portant sur la canne à sucre, montrent une corrélation fortement négative (entre -0.65 et -0.76 selon les études) entre la teneur en saccharose et la teneur en fibre (Sunil & Lawrence, 1996; Jackson, 1994; Brown et al. 1969). De nombreuses décennies de sélection guidées par des critères industriels (forte richesse en sucre et faible teneur en fibre) ont donc contribué à ne conserver que des cultivars à faible potentiel photosynthétique. Corollaire à cette situation, le potentiel d'amélioration demeure considérable. Ainsi, les recherches sur la lignocellulose, impulsées à la suite des chocs pétroliers, montrent une grande variabilité variétale de teneur en fibre lignocellulosique (Rao, P.S., Albert-Thenet, J.R., 2005; Albert-Thenet, J. R., and Rao, P., S., 2005; Rao, P. S. and Kennedy, A., 2004; De Andrade et al, 2004; Salas & al., 1992; Clarke, S. J., Giamalva, M. J., 1986; Clarke, S.J., Keenlside, W., 1986; ; Alexander, A. G., 1979 ; Randa, M., Valdez, R.E., 1976). Le potentiel d'accroissement est considérable. Les cannes à sucre actuelles ont des teneurs en fibre inférieures à 15%. Les hybrides créés en Floride et à Barbade approchent les 30%. Les meilleurs géniteurs utilisés pour accroître les teneurs en fibre atteignent 59% (*S. Spontaneum*).

La valeur énergétique de la biomasse, qui intéresse en premier lieu la Guyane est liée au rendement en matière sèche et plus particulièrement en fibres. Cependant, l'accroissement du rendement en lignine est susceptible d'améliorer largement ce résultat (Colonna, 2005). Les sélectionneurs canniers de Guadeloupe (CIRAD, UPR75) rejettent couramment en fin de sélection des variétés riches en sucre mais trop riche en fibre (17 à 20%). Ce type de matériel intéresse le projet GUYANMAS. Si son introduction sur le territoire de la Guyane nécessite, de part la réglementation, le respect d'une période de quarantaine, nous envisageons d'introduire des graines de canne à sucre (*fuzz*) issue de croisements favorables à la fibre à partir de la Guadeloupe (CIRAD) de Barbade (WICSGBS) et de la Réunion (CERF) afin de sélectionner du matériel végétal performant, adapté aux conditions pédoclimatiques guyanaises.

Les recherches sur les composantes de la biomasse de la canne à sucre sont aujourd'hui réduites à l'industrie papetière (Egypte, Inde) et l'élevage (essentiellement Brésil). Les résultats sont généralement limités aux teneurs en cellulose et en lignine des coproduits. Très peu de recherches ont été orientées vers la production quantitative et qualitative de la biomasse de la totalité de la production. Une équipe brésilienne (IAC de Campinas) a mis en évidence une forte variabilité de teneur en cellulose, hémicellulose et lignine en fonction de la variété et de l'âge (test de 60 variétés cultivées pour le sucre). Les variations, positives comme négatives, sont significatives (De Andrade et al, 2004). La composition lignocellulosique est liée à l'âge et aux interactions génotype-environnement. Très récemment, le groupe Monsanto vient de s'associer avec une entreprise brésilienne de biotechnologie (Allelix e CanaViallis de Votoratim Novo Negocio) pour créer des cannes transgéniques « Round Up Ready » adaptées à la production d'éthanol e seconde génération (Gazeta Mercantil, 30/05/07)..

Les possibilités d'accroissement de la production potentielle par le jeu traditionnel des intrants (engrais et pesticides) ne sont pas envisagées. Le caractère non durable de ce type d'intensification aux fortes externalités négatives (environnement, économie).est largement décrit. Les systèmes durables que nous recherchons reposent sur un bon équilibre entre les besoins minéraux des cultures, les disponibilités du sol (Pouzet & al. 1998) et l'optimisation des techniques agronomiques avec notamment :

- Rotation avec des légumineuses et des cultures arbustives aptes au recépage et valorisables (azote, exploitation à des profondeurs différentes des ressources du sol) ;
- Choix de cultures à croissance rapide pour limiter l'enherbement et réduire les besoins en herbicide et les risques d'érosion ;
- Forte densité de culture pour accélérer la couverture du sol à l'implantation (enherbement, érosion) et accroître la durée du cycle de production ;
- Choix d'espèces et de variétés sur des critères d'aptitude à la repousse afin de réduire la fréquence des replantations qui grèvent l'économie de production.

Des cultures comme la canne à sucre présentent une option intéressante en matière de durabilité :

- Le sucre est l'un des constituants valorisable qui s'ajoute à la valeur de la biomasse. Il peut, en fonction des procédés industriels retenus, améliorer l'intérêt économique de la production. (par exemple éthanol / énergie ou éthanol de première et seconde génération) ;
- La culture ne nécessite pas de pesticides et des besoins limités en herbicides ;
- Les besoins minéraux de la canne à sucre rapportés à la biomasse produite sont faibles, notamment en matière d'azote (faible teneur en protéine de la plante) ;
- La canne résiste de manière remarquable à la toxicité aluminique propre aux sols acides. Le chaulage est rarement nécessaire et les apports calco-magnésiens peuvent être généralement limités aux seuls besoins trophiques
- Les possibilités de récolte annuelle permettent des retours sur investissement de courte durée.

La plupart des Poacées en C4 qui nous intéressent ont des caractéristiques favorables à la 'durabilité' des systèmes de production de biomasse.

CONSEQUENCES SUR LES ORIENTATIONS DU PROJET

Ces informations nous permettent d'envisager de moduler la production des principales composantes de la lignocellulose par les techniques culturales (variété, âge de récolte, fréquence et période des coupes...). Les perspectives d'accroissement du PCI et du rendement énergétique sont bonnes. Les espèces à croissance rapide comme la canne à sucre ou le switchgrass sont considérées comme des options économiques intéressantes pour l'énergie (McLaughlin SB & al. 2002).

L'utilisation de la totalité de la production pose par ailleurs de nouveaux problèmes que le projet GUYANMAS devra aborder. La mécanisation de la récolte doit être repensée ainsi que la fertilisation. La première variété canne-fuel du WICSGBS, en cours d'évaluation agronomique à Barbade, Guyana et à Belize (WI79460, 23,5 à 27% de fibres), génère des pertes de 50% lors des récoltes mécaniques, le matériel disponible étant encore inadapté à la taille des plantes et à la double collecte des fractions sur pied et au sol (Rao, Novembre 2006). La récolte de la totalité de la biomasse produite permet d'accroître le rendement total de plus de 10t/ha/an de matière sèche. Cette production supplémentaire correspond aux résidus laissés au sol après récolte de la canne pour le sucre ou le rhum (Pouzet et al. 2002).

Le projet GUYANMAS pose des problèmes scientifiques innovants (1) de déterminisme génétique des composantes de la biomasse ; (2) de compréhension des mécanismes de formation des composantes de la biomasse au cours du cycle de culture en fonction des conditions pédoclimatiques et (3) d'évaluation du concept de durabilité et de sa prise en compte dans les approches économiques.

La contribution du projet à ces questions sera circonscrite à certains aspects : Notre ambition est de mieux comprendre l'influence des principaux facteurs agissant sur la composition de la plante et le rendement et les interactions entre ces facteurs. Les facteurs qui seront abordés sont : le matériel génétique, les conditions climatiques (thermo radiatif, hydrique) et la culture (essentiellement âge et les périodes (saisons) de récolte). Dans le cadre

économique, nous prévoyons de compléter les approches classiques par une prise en compte des externalités environnementales et sociétales avec l'appui d'économistes CIRAD et CIRED.

CONTENU TECHNIQUE DU PROJET

Le projet vise de manière chronologique :

- à identifier et mettre en collection les espèces végétales et les variétés les plus performantes pour la production de biomasse ;
- à évaluer, pour les meilleures, l'évolution avec l'âge et les conditions climatiques des principales composantes de la lignocellulose et des caractéristiques physiques liés aux usages qui nous intéressent (pouvoir calorifique, teneur en eau, en cendres et en métaux alcalins pour l'énergie, cellulose et protéines pour l'élevage, cellulose et sucre pour l'éthanol de seconde génération...).
- à mettre au point, à partir de ces données, des itinéraires techniques à faible empreinte environnementale et évaluer les coûts de production.

Collections

Constitution d'une collection de plante à forte capacité de production de lignocellulose :

- Poacées du groupe Saccharum (canne à sucre, miscanthus, eryanthus, spontaneum...)
- Autres poacées dont les cultures fourragères (dont le Panicum purpureum).
- Espèces arbustives susceptibles d'être exploitées par recépage annuel (dont des légumineuses à pouvoir fixateur de l'azote)

Ce travail d'identification met en jeu :

- des collaborations avec les spécialistes des espèces fourragères et forestières ainsi que les équipes d'amélioration de la canne à sucre.
- des prospections locales de l'existant et des introductions d'espèces et de variétés nouvelles.
- Sélectionner de nouvelles variétés de canne à sucre par introduction de fuzz (graines de cannes à sucre) pour enrichir les collections.

Les individus en collection seront 'criblés' pour des critères agronomiques : vigueur et vitesse de couverture du sol, aptitude à la repousse après coupe, facilité d'implantation.

Caractérisation de la biomasse

Les meilleures espèces et cultivars issues des collections seront implantés en station sur de petites parcelles pour des analyses des composantes et caractéristiques de la biomasse.

Nous prévoyons d'évaluer par un dispositif expérimental adapté :

- L'évolution de la teneur en cellulose hémicellulose, lignine, protéines ainsi que du PCI (sur matière sèche et sur matière brute) en fonction de l'âge de la culture ;
- L'évolution de ces composantes en fonction de la fréquence des récoltes ;
- Les liens entre les variations observées et les conditions climatiques journalières ou saisonnières en particulier thermo-radiatives et hydriques.

Ces informations sont destinées à parfaire la sélection en fonction des usages, préciser les cycles culturels les mieux adaptés, et disposer d'éléments de compréhension de la production en fonction du climat.

Analyses

Nous caractériserons la biomasse par des analyses par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR). Cette méthode permet l'analyse en un seul passage non destructif des constituants préalablement calés (cellulose, hémicellulose, lignine, pouvoir calorifique, protéines...). Les coûts sont de l'ordre de 5 à 6 € l'analyse complète. Nous procéderons aux analyses à partir d'équipement externe au projet. Les échantillons stabilisés et formatés seront expédiés dans des laboratoires avec lesquels le projet collabore (CIRAD Montpellier pour l'élevage et la Forêt, CIRAD Réunion pour l'élevage et la canne à sucre). La mise en œuvre de la méthode nécessiterait de lourds investissements en Guyane : Cette option peut être approfondie si une utilisation en synergie avec d'autres projets se fait jour.

- l'équipement d'un laboratoire biomasse (étuves, broyeurs, balances...) pour préparer les échantillons stabilisés et calibrés pour le SPIR (granulométrie de 0.1 mm).

- Des analyses classiques d'environ 100 échantillons par an pour caler les spectres du SPIR pour les espèces les plus intéressantes comme la canne à sucre (200 €/analyse classique complète).

Pour ce second point, il est indispensable de disposer d'une variabilité étendue de teneurs dans les principales composantes étudiées pour le calage. Nous aurons ainsi recours aux deux principales sources de variabilité qui sont la variété et l'âge de la culture pour disposer d'une gamme assez large.

Seules les espèces présentant un bon potentiel seront calées pour limiter les coûts du projet.

Test et essais

Le meilleur matériel issu des sélections sera mis en culture en station et chez des agriculteurs pour :

- Estimer les contraintes de cultures (facilités d'implantation et de récolte, aptitude à la repousse, durée de vie, aptitude à la rotation...);
- Faire des premières estimations des coûts de production.

Les sites expérimentaux seront équipés de stations agro météorologiques automatiques, outil indispensable à l'interprétation des résultats et à leur extrapolation.

Les collaborations

Les principales collaborations envisagées (non exhaustives) sont les suivantes :

- Groupements d'éleveurs et d'agriculteurs (Chambre d'Agriculture) pour estimer l'intérêt du matériel végétal et des techniques de culture proposées ;
- Industriels (Distillerie de St Laurent du Maroni, SARA, IRIS-ingénierie, COGEMA...) intéressés par la cogénération, le froid, la chimie verte... ;
- UAG pour la formation d'étudiants et de stagiaires ;
- Pôle de compétitive IAR Champagne Ardenne et Picardie pour les échanges scientifiques et la collaboration dans le domaine des usages agroindustriels (bioraffinage, papier, éthanol de seconde génération...).

Organisation et Budget

Calendrier prévisionnel sur 5 ans

Année	1	2	3	4	5
EQUIPEMENTS					
<i>Calage des analyses</i>					
<i>Maintenance de la gamme de calage</i>					
<i>Constitution et entretien des collections</i>					
<i>Sélection du matériel végétal</i>					
<i>Evaluation agronomique en station</i>					
<i>Evaluation agronomique en milieu paysan</i>					

Indicateurs de suivi

Indicateurs techniques :

- La variabilité de la teneur en fibre, cellulose, hémicellulose, lignine, PCI et sucres totaux des collections. Les premières informations seront disponibles dans le courant de l'année 2 (valeurs minimales et maximales, répartition).
- La variabilité de ces mêmes paramètres avec la culture. Premiers résultats en début d'année 4
- Les premières propositions d'itinéraire technique pour produire de la biomasse en fin de projet (fin d'année 4 et année 5).

Indicateurs économiques (en fin de projet) :

- Une première approche économique des coûts de production

- Une évaluation plus concrète dans le cadre prévisionnel de mise en place d'unités pilote de cogénération basée en partie sur la biomasse cultivée.
- Estimation des marges de progrès pour accroître la rentabilité des agrosystèmes proposés.

Indicateurs environnementaux :

- Estimation des améliorations potentielles en matière d'économie de GES.

Budget prévisionnel : 2055,5 K€ sur 5 ans K€
Investissement (376,5 K€ année 1)

NATURE	Unités	K€/unité	S/T	Total
Abris de culture équipé (brumisation, table...)				25
Abris de 200 m ² avec dalle	1	20	20	
Table de semis, brumisation	1	5	5	
Laboratoire biomasse				295,5
Etuves	2	7,5	15	
Balances	3	1,5	4,5	
Presse	1	20	20	
Broyeur de tige	1	30	30	
Broyeur cyclotec Foss	1	6	6	
SPIR Foss solide/liquides	1	70	70	
Base de calibration	1	5	5	
Mission d'appui technique de mise en place du SPIR		5	5	
Homegénéiseur Foss	1	5	5	
Equipement de sacherie	1	2	2	
Bâtiment technique de réception / broyage /séchage	25	2,2	55	
Bâtiment de mesure / analyse	30	2,6	78	
Stations agro-météorologique automatique	2	5,5	11	11
Véhicule				45
Utilitaire	1	25	25	
De liaison	1	20	20	
TOTAL INVESTISSEMENTS				376,5

Personnel (1400 K€ sur 5 ans)

	Coût annuel en K€
Cadre senior avec habillage	165
Technicien laboratoire biomasse	30
Technicien collections	30
Technicien agronomie	30
VCAT/ stagiaires	25
TOTAL PERSONNEL	280

Fonctionnement (279 K€ sur 5 ans)

Année	1	2	3	4	5
Animation scientifique (missions, colloques...)	4	4	5	5	5
Culture dont mécanisation intrants (base 2,5K€/ha)	2,5	3,75	6,25	6,25	6,25
Main d'œuvre temporaire (100 j/an à 100€/jour)	10	10	10	10	10
Abris de culture	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Laboratoire	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Analyses de calage (200€ l'unité)		20	20	10	
Analyses de routine (5€ l'unité)	0,5	1	2,5	3	3
Véhicule (30000 km/an, 0,3 €/km)	18	18	18	18	18
Papeterie et divers	1	1	1	1	1
Informatique (ordinateurs, imprimantes...)	3	2	1		
Eau électricité, maintenance	2	2	2	2	2
Total	43	63,75	67,75	57,25	47,25

Principaux documents consultés

- Gazeta Mercantil, 30/06/2007. www.dci.com.br et www.panoramabrasil.com.br
- IAR. Pôle Industrie et Agro-Ressources. Régions Champagne-Ardenne et Picardie, 2007 : www2.iar-pole.com
- Rao, P. S, Novembre 2006. BREEDING SUGAR CANE VARIETIES for SUGAR, ETHANOL AND ELECTRICITY. West Indies Central Sugar Cane Breeding Station, BARBADOS. Présentation power point lors de la réunion CIRAD réseau WISBEN. 17 au 21 octobre 2006
- FAO, November 2006. Livestock's Long Shadow –Environmental Issues and Options.
- Cabidoche, Y-M., Jannoyer, M., Vannière, H., Juin 2006. Conclusions du groupe d tude et de perspectives « Pollution par les organochlorés aux Antilles » Aspects agronomiques. CIRAD/INRA, Juin 2006. 66 p.
- Dupré, J-Y et Prevot, H., Mars 2006. A paraître. Rapport de mission interministérielle dans les DOM, portant sur la valorisation de la biomasse   des fins énergétiques et le développement d'une filère biocarburant.
- Patzec, T.W., Pimentel D., 2005. Thermodynamics of energy production from biomass. Critical review in plant sciences, 24 : 327-364.
- Maecelo, E. ; Dias de Oliveira, Burton E., Vaughn, Rykile, E.J. 2005. Ethanol as fuel : Energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. BioSciences July 2005. Vol 55, 7 HS, pp 593-602.
- Colonna, P, Juin 2006. La chimie verte, Editions TEC & DOC. Edts Lavoisier, Paris, 211 p.
- Rao, P.S., Albert-Thenet, J.R., 2005. Fuel cane biomass potential for year round energy production. Proc. ISSCT Vol , 2005, Guatemala.
- Hertford, R., May 2005. A para tre. Barbados: Agriculture's competitiveness. Final report. IADB consulting, Agricultural Planning Unit, Ministry of Agriculture and Rural Development. Document provisoire, 107 p.
- Albert-Thenet, J. R., and Rao, P., S., 2005. Fuel cane for the production of electricity in Barbados. WISBEN meeting, Barbados, 8 p.
- Rigal, L., Juin 2005. Journ e technique "biomasse et environnement. Biomasse et matériaux : une réalité. Journ e technique AGRICE-ADEME « biomasse et environnement ». Laboratoire de chimie agroindustrielle UMR 1010/INRA/INP-ENSIACET, Toulouse, 36 p.
- Godshall, M. A., 2005. Enhancing the agro-industrial value of the cellulosic residues of sugarcane. International Sugar Journal, 2005, Vol 107, N  1273, pp 53-60.
- Kessari, M.E., Langellier, P., Novembre 2005. Evaluation des productions mondiales de bagasse et de résidus de récolte. Disponibilités pour le futur. Projet ULCOS. CIRAD Montpellier, 30 p.
- Programme National de Recherche sur les bioénergies, Février 2005. 57 p.
- Klass, D., Biomass for renewable energy and fuels. Encyclopedia of energy. Oxford. Edt Elsevier; 2004.
- Rao, P. S. and Kennedy, A., 2004. Genetic improvement of sugarcane for sugar, fibre and biomass. Ministry of Agriculture Annual Conference, Barbados, 2004. 13 p.
- De Andrade JB., Ferrari E. Jr., Possenti RA., Pozar Otsuk I., De Andreade Landell, M.G., 2004. Composi  o química de gen tipos de cana de   u  e em duas idades, para fins de nutri  o animal. Bragantia, Campinas, v.63, n.3, p.341-349, 2004
- Wellich, E., Novembre 2004. Première année 2004-2005 du plan stratégique pour le réseau canadien d'innovation dans la biomasse. Programme de recherche développement. RCIB, 81 P.
- Werpy, T., Petersen, G. Edits, August 2004. Top value added chemical from biomass. Volume I – Results of screening for potential candidates from sugars and synthesis gas. Department Of Energy, Energy Efficiency and renewable Energy. 68 p.
- Swierczynski, D., 2004. Elaboration et développement d'un catalyseur Ni/Olivine pour la production d'hydrogène par gaz fication de la biomasse en lit fluidis . Thèse de doctorat en chimie, Universit  Louis Pasteur.
- A. Morand, June 2004. Bagasse cogeneration – Global review and potential. WADE (World Alliance for Decentralized Energy), www.localpower.org, 72 p.
- Paster, M., Pellegrino, J. L., Carole, T., M., July 2003. Industrial bioproducts: Today and tomorrow, July 2003. Energetic, Incorporated, Columbia, Maryland, for the US DOE. 90 p.

- Biocap Canada, 2003. *Evaluation des possibilités et des défis d'une économie axée sur la biotechnologie pour la recherche agroalimentaire au Canada*. Conseil de Recherches Agroalimentaire du Canada, CARC, 25 p.
- Isais de Carvalho, Macedo, Manoel Regis Lima Verde Leal, João Eduardo Azevedo Ramos da Silva, December 2003. *Greenhouse gas (GHG) emissions in the production and use of ethanol in Brazil: present situation (2002)*. Universidade de Campinas y Centro de Tecnologia de Copersucar. 47 p.
- Martiné J.F., 2003. *Modélisation de la production potentielle de la canne à sucre en zone tropicale, sous conditions thermiques et hydriques contrastées*. Applications du modèle. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, 132 pp.
- Lee, JW; Mets, L., Greenbaum, E. *Improvement of photosynthetic CO₂ fixation at high light intensity through reduction of chlorophyll antenna size*. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2002; vol 98-100, pp 37-48.
- McLaughlin, SB; Ugarte, DGD; Garten, CT, Lynd, LR; Sanderson, MA, Tolbert, VR; Wolf, DD. *High-value renewable energy from prairie grasses*. *Environmental Science and Technology*, 2002; Vol. 36, N° 10, pp 2122-2129.
- Ministère de l'économie, 2002. *Programmation pluriannuelle des investissements de production électrique*, Rapport au parlement, 29 Janvier 2002, 80 p.
- Ecobilan/PriceWaterhouseCoopers/ADEME/DIREM. December 2002. *Energy and greenhouse gas balance of biofuels production chains in France*. Executive summary, données de référence.
- Kinoshita, C. M., Turn, S., Q., and Brain, R., L., 2002. *Biomass Gasification for combined heat and power in the cane sugar industry*. *International Sugar Journal* 2002, Vol. 104 No 1242.
- Morris, M, Waldheim L., Linero F., A., B. and Lamonica, H., M., 2002. *Increased power generation from sugarcane biomass – The result of technical and economic evaluation of the benefits of using advanced gasification technology in a typical brazilian sugar mill*. *International Sugar Journal* 2002, Vol. 104 No 1242.
- Pouzet, D., Velle, A., Rassaby, A., Février 2002. *Estimation des résidus de récolte de la canne à sucre*. Bilan des études menées au cours des campagnes 2000 et 2001 sur l'île de La Réunion. CIRAD-CA Programme CAS – Pôle Canne à Sucre. Saint Denis, 14 p.
- CANUC, 2002. *Système de gestion des marches stratégiques*. Produits chimiques « plates-formes ». 24 p. Olson, E.S., June 2001. *Conversion of lignocellulosic material to chemical and fuel*. Final report. Energy & Environmental Research Center. University of North Dakota. Subtask 4.1., 10 p.
- Larson, E., D., Williams, R., H., and Leal M. R., 2001. *A review of biomass integrated-gasifier/gas turbine combined cycle technology and its application in sugarcane industries, with an analysis for Cuba*. *Energy for Sustainable Development*. Volume V No 1, March 2001. 54-76.
- Briceño, C.O., Cock, J.S., Torres, J.S., 2001. *Electric power from green harvesting residues of sugar cane in Columbia*. *Sugar Cane International*, March 2001, 15-19.
- Rogers, D.R., Spear, S. K., Swatloski, R.P., Reichert, W.M., 2001. *Non-sugar products from sugarcane for the new millennium: Green pathway to a carbohydrate economy?*. *Proceedings of the annual meeting sugar industry*. 2001, Vol 60, N° HS, P 291-301.
- Moreira, J. R., 2000. *Sugarcane for energy – recent results and progress in Brasil*. *Energy For Sustainable Development*, Vol IV, N° 3, October 2000. p 43-54.
- Kheshgi, HS ; Prince, RC, Marland G. *The potential of biomass fuels in the context of global climate change: Focus on transportation fuels*. *Annual Review of Energy and Environment*, 2000; Vol 25, pp 199-244.
- Pouzet, D., Martiné, J-F., Leinhart, B., Février 1999. *Evaluation des conseils en fertilisation de la canne pour les hauts rendements*. Variétés R570 et R579 en culture irriguée à satisfaction des besoins sur sol brun fertile. CIRAD CA, Saint Denis, La Réunion. 34 p.
- Yan, W. , Lan, C., Liang, H., 2000. *R&D on paper-making from bagasse in Guitang*. SPRI 2000 Conference on Sugar Processing Research. 274-285.
- Pouzet D., Chaballier P.F., Legier P., 1998. *Fertilité des sols et conseil en fertilisation, Système expert d'interprétation des analyses chimiques des sols réunionnais*. Amendement et conseil en fertilisation pour la canne à sucre, les graminées fourragères,

l'ananas et le bananier. Saint-Denis, Réunion, CIRAD-CA, 96 p, Documents de travail du CIRAD-CA, n. 1-98.

- Sunil H.K. and Lawrence M.J. (1996). Quantitative genetics of sugarcane. I. A large-scale evaluation of *Saccharum germplasm*. *Sugar Cane* 6:3-10.
- Girgis, B.S., Khalil, L.B., Tawfik, T.A.M., 1994. Activated carbon from sugar cane bagasse by carbonization in the presence of inorganic acids. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 1994, 61, 87-92
- Jackson P.A. (1994). Genetic relationships between attributes in sugarcane clones closely related to *Saccharum spontaneum*. *Euphytica* 79: 101-108.
- Clarke, S. J., Giamalva, M. J., 1986. Material and energy balance for processing high fiber sugarcane. *Biomass Energy Development*, 1986: 607-620.
- Clarke, S.J., Keenlside, W., 1986. Cane varieties for power production. *Proc inter American sugar cane seminar*, 1986:102-115.
- Giamalva, M. J., Clarke, S. J., Stein, J. M., May 1984. Sugarcane Hybrids of Biomass. *Biomass* 6 (1984) 61-68.
- Salas, M., Aumont, G., Biessy, G., Magnie, E., 1992. Effect of variety, stage of maturity and nitrate fertilization on nutritive values of sugar canes. *Annual Feed Science and Technology*, 39 (1992) 265-277.
- Alexander, A. G., 1979. Production of sugarcane and tropical grasses as a renewable energy source. First and second quarterly reports to the DOE, Fuels from Biomass Systems Branch. Year 3, 1979-80.
- Randa, M., Valdez, R.E., 1976. Effect of stage of maturity on nutritive value of sugar cane. *Trop Anim Prod* 1976 1:94-97.
- Brown A.H.D., Daniels J. and Latter B.D.H. (1969). Quantitative genetics of sugarcane. II. Correlation analysis of continuous characters in relation to hybrid sugarcane breeding. *Theor. Appl. Genet.* 39:1-10.

ANNEXE I : Bref aperçu des usages de la biomasse en cours de développement

Les filières de développement de bioproduits (y compris biocarburants) à partir de la biomasse sont très nombreuses et souvent au stade recherche développement (RD) avec des espérances d'application à court terme (5 à 10 ans). De nombreuses références sont accessibles sur internet concernant la biomasse brute comme raffinée :

La biomasse brute est notamment utilisable pour l'énergie (charbon de bois, cogénération, gazéification, carburants liquides¹ par l'intermédiaire de syngas², méthanisation³) et les bioproduits ou biocomposites (dans le cas particulier de la canne à sucre⁴ : géotextiles, capteurs recyclables d'hydrocarbures, papier, panneaux, polymères par association directe à de l'amidon...). La biomasse raffinée par hydrolyse thermochimique ou biochimique⁵ conduit au glucose (cellulose), à des pentoses comme le xylose et l'arabinose (hémicelluloses⁶) et à des molécules organiques cycliques à forte valeur ajoutée potentielle (lignine). Ces unités chimiques conduisent à de larges gammes de produits par des voies multiples (chimiques, thermochimiques, fermentation...). Les produits plate-forme les plus prometteurs issus de cette matière première sont au nombre de douze⁷ (NREL⁸, 2005, CANUC⁹). Ils conduisent à des produits secondaires multiples comparables à ceux de la chimie du pétrole mais aussi nouveaux. Des unités de production sont déjà fonctionnelles aux USA¹⁰. Les études de RD impliquent aujourd'hui plus de 250 industriels¹¹. Des études sont également conduites en France (AGRICE-ADEME, PRNB). Elles mobilisent de nombreux chercheurs, développeurs et producteurs¹².

Ces filières sont généralement associées à la biomasse ligno-cellulosique forestière mais aussi cannière. Le rendement des filières comme leur intérêt économique dépend, en dehors de l'économie de production de la ressource, de la qualité des ligno-celluloses¹³ et par voie de conséquence des espèces, des cultivars et des itinéraires techniques (âge à la récolte).

Un processus de fractionnement¹⁴ de la bagasse de canne à sucre a été déposé (US Patent 5,730,837) dès 1998 par le NREL (Godshall, 2005).

Les sources de biomasses agricoles¹⁵ sont les productions naturelles et les cultures. Les forêts et les jachères valorisent des terres peu aptes aux productions alimentaires sans émission de

¹ Procédé Fischer Tropsch actuellement développé aux USA, en Afrique du Sud et en Malaisie pour le charbon. Des études sont conduites en France (Université Louis Pasteur) pour purifier le syngas par voie catalytique.

² Ou gaz synthétique (CO + H₂)

³ Le biogaz qui contient 65% de méthane (CH₄) et le reste en gaz carbonique (CO₂) nécessite un apport d'azote dans le cas de la bagasse de canne à sucre très pauvre en N. Un procédé utilisant des cultures de légumineuses (N-bio) est en cours de développement au Brésil en collaboration avec une société américaine.

⁴ Une étude du département américain de l'agriculture sur les fibres autres que le bois cite 255 fois la bagasse pour les matériaux de construction (citation de Godshall, 2005).

⁵ Nombreuses recherches en cours pour mettre au point des bioraffineries de biomasse ligno-cellulosique. Les difficultés concernent l'hydrolyse de la cellulose (voie chimique coûteuse et polluante, voie biochimique onéreuse du fait d'un prétraitement délicat, de l'inhibition de la cellulase par le glucose et de son inactivation par des traces de lignine), la filière hémicellulose (les pentoses sont peu fermentescibles par les levures). La sélection de souches utilisant les pentoses est en cours en France) et la lignine (la récupération des produits du craquage n'est pas au point). Des recherches sont conduites en France sur la dégradation enzymatique des lignines (champignons).

⁶ Les hémicelluloses contiennent aussi de faibles quantités de glucose et de mannose.

⁷ Ces produits sont les diacides 1-4 (succiniques, fumariques et maliques); l'acide 2.5 dicarboxylique furan; l'acide 3 hydroxy propionique; l'acide aspartique, l'acide glucarique, l'acide glutamique, l'acide itaconique, l'acide levulinique; le 3 hydroxybutyrolactone le glycérol le sorbitol et le xylol/arabinol.

⁸ National Renewable Energy Laboratory (USA)

⁹ Canadian Agricultural New Uses Council

¹⁰ Notamment une unité de 140000 t/an de polymères (polylactates) au Nebraska (Cargill Dow) et de copolymère en Caroline du Nord à partir de transformation microbienne (DuPont). ADM (Archer Daniel Midlands) fabrique depuis 2001 un ensemble de bioproduits de base (sorbitol, acide lactique, lysine, acide citrique). Ces unités sont installées au centre des bassins céréaliers de production pour des raisons économiques.

¹¹ Cité par Biocap Canada : Ethanol (Cargill, ADM, World Energy, Minesota corn processor); biodiesel (Ag LCC, World Energy, West Central Soy); lubrifiants et fluides hydrauliques (Cargill, ELM, John Deer, Lubrizol); Bioplastics (DuPont, Cargill); Lactate d'éthyl (Vertec Biosolvents, ADM, Cargill); Acide polylactique (Cargill, Purac North America).

¹² Le Programme National de Recherches sur les bioénergies associe les structures suivantes : ADEME, APOCEL, Air Liquide, Alstom Power, ARD, CEA, CIRAD, CRNS, Cristal Union, EDF, Europlasma, Europol'Agro, Gaz de France, IFP, INRA, INSA, Lesafre, Maapar, Maguin SAS, ONF, Onidol, Renault saf-Isis, Thales et Total.

¹³ Le CIRAD conduit par exemple des recherches sur les possibilités de production d'arbres pauvres en lignine pour l'industrie papetière

¹⁴ Le premier problème à résoudre est de séparer les constituants de la biomasse qui sont intimement imbriqués : la cellulose très cristallisée est reliée par l'hémicellulose, l'ensemble étant protégé par la lignine insoluble et très peu putrescible

GES¹⁶. Les cultures font l'objet d'efforts de RD considérables pour accroître leur « durabilité » environnementale¹⁷. Les besoins quantitatifs en biomasse sont tels que l'on ne peut envisager de faire l'économie de systèmes intensifs, bien que moins performants en matière de GES. La nécessité de créer des emplois conforte cette voie.

Rendement énergétique de quelques productions agricoles (filère biocarburant)

Production	Eproduite/Econsommée	Sources
Essence (50 ppm S)	0.873	ADEME ¹⁸
Gazole	0.90	Ecobilan
Ethanol de blé	2	
Ethanol de Betterave	2.05	ADEME
Huile d'oléagineux tempéré	4.7 à 5.5	Ecobilan
Ethanol de Canne à sucre*	8.3 à 10.2 ¹⁹	Carvalho Macedo et al

* Au Brésil, la canne est brûlée à la récolte, soustrayant ≈ 10 t/ha de biomasse résiduelle au bilan

La recherche des cultures présentant les potentiels photosynthétiques les plus élevés s'impose²⁰. La canne à sucre, nécessitant peu de consommation intermédiaire (intrants, mécanisation, infrastructures...), peu érosive et tolérante aux sols acides est parmi les productions agricoles les plus performantes (Tableau). Elle présente l'avantage sur la biomasse ligneuse d'une production immédiate et d'un fractionnement mécanique facile. Ce statut est confirmé par le DOE²¹ qui estime que la production cannière américaine sera entièrement consacrée à la biomasse en 2010.

Les derniers développements concernent les usages dits de seconde génération de la biomasse. Celle-ci est décomposée en ses principaux constituants. La cellulose donne du glucose fermentescible, les hémicelluloses donnent des pentoses désormais fermentescibles²². Des usines sont actuellement développées pour produire de l'éthanol de seconde génération à partir de résidus végétaux (Canada, USA, Chine) et des pilotes sont à l'étude sur la canne à sucre (Dedini, Brésil). Dans ce dernier cas, on compte doubler la production d'éthanol par hectare en passant de 5600 l (sucre) à près de 13000 l/ha (sucre + lignocellulose). Le groupe Monsanto s'est associé récemment avec une entreprise privée (Allelix e CanaVialis²³) brésilienne pour créer des cannes fibres destinées à l'éthanol de seconde génération.

¹⁵ Nous ne traitons pas ici de la valorisation des résidus organiques de nos sociétés

¹⁶ L'utilisation des jachères pour l'élevage s'accompagne de production de CH₄, 23 fois plus actif que le CO₂ pour le réchauffement climatique (valeurs IPCC GWP – 100). Des recherches sont en cours pour limiter les émissions de CH₄ des ruminants.

¹⁷ Bio-azote par recours aux légumineuses et à la fertilisation organique (le N₂O et 296 fois plus actif que le CO₂ pour le réchauffement climatique norme IPCC) ; limitation et amélioration de l'usage des pesticides ; amélioration de l'usage de l'eau ; réduction des risques d'érosion...

¹⁸ Poitrat, Etienne, ADEME. Juin 2007. Bilan énergétique de la filière céréalière. Académie des Technologies, Chartres, 26 avril 2007.

¹⁹ Le premier chiffre est la moyenne d'une centaine de sucrerie. Le second correspond aux sucreries les plus performantes. Il montre les marges d'amélioration possibles aujourd'hui.

²⁰ Plantes à cycles photosynthétiques en C4 pour la zone tropicale qui nous intéresse.

²¹ Department Of Energy US

²² Manipulation génétique de levures réalisée par l'Université technologique de Delft en Hollande <http://www.tudelft.nl>

²³ Groupe Votorantim Novo Negocio. www.dci.com.br

ANNEXE II : Note sur le positionnement du projet Guyanmas dans les conflits d'usage de la biomasse (alimentaire vs industriel).

Le terme biomasse recouvre la totalité de la production carbonée issue de la photosynthèse. Les recherches sur la biomasse relèvent du déficit majeur de l'agriculture : assurer l'alimentation humaine en réduisant l'impact de la production sur l'environnement.

Les demandes actuelles en biomasse sont « pétrolo-dépendantes » et profitent sans vraiment l'intégrer de la problématique du réchauffement climatique. Elles reposent sur des besoins non alimentaires avec une très forte dominante bioénergétique. Elles sont associées à des filières mono-usage des technologies vieillissantes et un fort lobbying industriel. Ceci en limite l'intérêt environnemental et contribue déjà à réduire les surfaces dédiées à l'alimentation humaine dans les pays du sud. Ceci contribue aussi à accélérer la déforestation (biodiésel au Brésil, accroissement des surfaces en palmier à huile dans les pays asiatiques, bioéthanol au Brésil...). Ceci pose enfin des problèmes économiques et sociaux, liés à l'affectation de surfaces agricoles du sud pour des productions destinées aux pays du nord. Nous sommes cependant concernés par ces demandes puisqu'elles :

- Donnent accès au financement de nos recherches pour intensifier une production alimentaire ;*
- Ouvrent les portes d'une collaboration avec l'industrie, collaboration qui devra devenir osmotique si l'on veut optimiser la production ;*
- Permettent de jouer en amont sur l'empreinte écologique liée à la transformation agroindustrielle.*

Les demandes du futur, qualifiées de seconde génération, sont liées à des recherches émergentes qui concourent à valoriser la partie ligno-cellulosique des plantes. Elles ne s'opposent pas à nos objectifs alimentaires. La ligno-cellulose est en effet à la base de la production de protéines alimentaires. Elle est aussi constituée des polymères dont peuvent être extraits ou synthétisés nos aliments énergétiques de base (sucres, polysaccharides, amidon...). Elle représente enfin le déchet ou sous produit principal de toute production alimentaire dont la valorisation ne peut qu'améliorer le statut du producteur.

Les orientations de recherche.

Introduction

Chaque constituant de la biomasse des plantes présente un intérêt spécifique et va permettre seul ou associé, de valoriser des usages particuliers. Cette production carbonée est actuellement orientée vers des produits uniques (huile sucre, protéine...), associés souvent à un procédé industriel d'extraction. Cette voie de développement se heurte aux objectifs d'une l'agriculture qui se soucierait du réchauffement climatique et de l'alimentation humaine. Elle contribue en particulier à :

- Une diminution du potentiel photosynthétique de la culture au profit d'une mécanisation de la production et d'une transformation industrielle plus efficace ;*
- La production de déchets industriels et des pollutions incontrôlables dans les pays du sud qui nous concernent (y compris les DOM) ;*
- Un gaspillage important de la production agricole représentée par les fractions de la biomasse non dédiée à l'outil industriel (sous produits) ;*
- Des problèmes environnementaux associés au processus de production de la ressource (monoculture intensive...).*

Notre outil de base pour infléchir cette situation est la connaissance des sources de variabilité des composantes de la biomasse à partir desquelles nous devons réorienter la production en fonction des usages. Ces principales sources sont : la variété ; la culture (essentiellement le cycle de production, mais aussi le niveau des apports trophiques) et les interactions entre le pédo-climat et la variété.

Orientations générales

Les recherches sur la biomasse s'inscrivent dans une évolution nécessaire vers la valorisation de la totalité de la production, l'amélioration du potentiel photosynthétique des cultures, un meilleur bilan écologique des systèmes de production et une amélioration du résultat économique.

La valorisation de la totalité de la production agricole et non plus d'une seule « molécule », est en phase avec les développements actuels de la recherche technologiques dans les domaines de l'énergie des biomatériaux ou de la chimie verte. Elle met en jeu toutes les composantes du système de culture dans leur capacité à moduler la teneur de la biomasse dans ses principales composantes.

L'amélioration du potentiel photosynthétique est une voie très prometteuse si l'on se réfère notamment à la canne à sucre. Elle passe aujourd'hui en particulier par :

- *La création tout à fait novatrice de variétés aux caractéristiques en adéquation avec un usage global de la production (notamment des croisements interspécifiques pour les Poacées en C4). Les quelques avancées dans ce domaine obtenues lors des précédents chocs pétroliers montrent d'étonnantes potentialités ;*
- *L'orientation indispensable vers les PGM qui permettent de valoriser directement les variétés élites existantes et qui offrent des possibilités d'intensification hors de portée de la génétique traditionnelle ;*
- *Le choix de nouvelles cultures en fonction de leur efficacité spécifique (exemple des Poacées en C4, tropicales comme tempérées, pour la production dédiée à la ligno-cellulose) ou de leur contribution à l'efficacité globale du système (rotation portant notamment sur les légumineuses et les oléagineux) ;*

L'amélioration du bilan écologique de la production dans un contexte de nécessaire intensification, n'est pas développée ici car le sujet est trop vaste. Le bilan énergétique net de la production dépend de l'ensemble des facteurs de production (engrais pesticides, eau, sol...) et de leur évolution dans l'espace et dans le temps. Il est aussi lié à l'organisation de l'exploitation, à la gestion post récolte et aux usages de la production. Rappelons toutefois qu'une meilleure utilisation de la production implique :

- *Une nouvelle approche des problèmes de fertilité, de désherbage de cycle de culture et de rotation ;*
- *Une nouvelle approche de la mécanisation de la production qui devra en particulier collecter la biomasse résiduelle, récolter des plantes aux caractéristiques mécaniques différentes, gérer des masses surfaciques plus élevées...*
- *Une nouvelle approche des relations avec l'industrie pour que la biomasse produite soit entièrement valorisée.*
- *Le développement de l'évaluation automatique de la qualité de la production. Ceci justifie pleinement de constituer des bases de données de référence pour la spectrométrie dans le proche infra rouge. Sont intéressés à la fois la recherche (évaluation de l'influence de nos avancées sur la qualité) et l'industrie (qualité de la ressource livrée, structuration du prix d'achat).*

L'amélioration du résultat économique des systèmes implique de conduire des études dans différents domaines et à différents échelles. Il s'agit notamment :

- *De diminuer des coûts de production en lien directe avec une réduction des émissions d'équivalent carbone (ACV) ;*
- *D'amélioration de la gestion et de l'organisation de la production ;*
- *D'argumenter les problématiques de dimensionnement de l'outil agro-industriel en prenant en compte non plus le seul aspect financier (retour sur investissement, taux de rentabilité interne... « big is better ») mais les externalités négatives liées à l'économie d'échelle (transport, création d'emploi, usage du domaine public, rentabilité des aides, pollution induites, sécurité de production... « small is sustainable ») ;*

- *De participer à la structuration des prix d'achat aux producteurs pour équilibrer la production dans ses usages industriels et alimentaires ;*
Ce volet économique est fondamental. Il conditionne notre crédibilité auprès des industriels. Il est de plus le moteur essentiel de tout projet de production.

Ces orientations mettent en évidence quatre champs scientifiques qui intéressent la biomasse et qui concernent l'acquisition de connaissance sur :

- *Les effets des interactions génotype environnement sur la synthèse qualitative et quantitative de la biomasse.*
- *Les mécanismes physiologiques de la synthèse des hydrates de carbone de structure des plantes, ce qui débouche sur leur déterminisme génétique.*
- *Les mécanismes contribuant au rendement du potentiel photosynthétique des cultures*
- *Les méthodes économiques pour la gestion de production multi-usage et peut être (voir C. Lejars) pour la gestion «holistique» des impacts d'une filière agro-industrielle sur l'environnement.*